



TITLE:

Xバンド偏波レーダによる積乱雲  
の構造解析を基礎にした降水セル  
のライフステージ判別と局地的豪  
雨予測手法の開発に関する研究(  
Abstract\_要旨)

AUTHOR(S):

増田, 有俊

---

CITATION:

増田, 有俊. Xバンド偏波レーダによる積乱雲の構造解析を基礎にした  
降水セルのライフステージ判別と局地的豪雨予測手法の開発に関する  
研究. 京都大学, 2016, 博士(工学)

ISSUE DATE:

2016-03-23

URL:

<https://doi.org/10.14989/doctor.k19691>

RIGHT:

京都大学	博士（工学）	氏名	増田 有俊
論文題目	X バンド偏波レーダによる積乱雲の構造解析を基礎にした 降水セルのライフステージ判別と局地的豪雨予測手法の開発に関する研究		
<p>（論文内容の要旨）</p> <p>本論文は、局地的豪雨による都市域の水災害への対策に向けた一助として、X バンド偏波レーダによる 3 次元観測情報を用いた積乱雲の構造解析を行うとともに、降水セルのライフステージ判別と局地的豪雨予測手法の開発に挑戦したものであり、全 7 章から構成されている。</p> <p>第 1 章は序論であり、本研究の背景として、短時間強雨の増加と都市域における水災害の発生要因と課題について示している。また、X バンド偏波レーダによる 3 次元観測値の活用と局地的豪雨の予測に関する重要性について述べている。さらに、本研究の目的と研究手法および本論文の構成について示している。</p> <p>第 2 章では、降水セルの抽出・追跡手法について提案し、XRAIN による現業観測値への適用結果を示している。降水セルの抽出・追跡手法は、第 3 章以降の研究において共通して用いられるもので、積乱雲の構造解析を行う上で重要な役割を担うものである。降水セルの抽出と追跡には、地上付近の降雨分布ではなく、各メッシュの鉛直最大値を用いた鉛直最大降雨強度を採用することによって、立体的な降水セルの追跡方法を提案している。また、組織化したマルチセルに対応するために、降水セル群の分割アルゴリズムも開発し、その効果と課題について整理している。</p> <p>第 3 章では、S、C バンドといったより長波長の偏波レーダ用に開発された降水粒子判別手法を、X バンドレーダによる 3 次元の偏波パラメータ観測値に適用し、その有効性の評価および検証を行っている。その際、粒子判別を行う上で重要となる品質管理処理について、<math>Z_H</math> および <math>Z_{DR}</math> のバイアス値の算定を行うとともに、誤判定の要因となるグラントクラッタの判定アルゴリズムを開発し、その有効性を示している。また、融解層に現れる偏波パラメータの特徴を利用することで、気温など他の気象情報を利用することなく、融解層高度を推定できることを明らかにし、粒子判別精度の独自の向上を図っている。本手法を、XRAIN による現業観測値に適用した結果、雲物理学的な観点と整合した粒子判別結果が得られることが示されている。また、ビデオゾンデ観測から得られた雲内の降水粒子映像と、名古屋大学の X バンド偏波レーダを用いた粒子判別結果を比較することで、本手法の妥当性について明らかにしている。</p> <p>第 4 章では、降水セルの追跡結果および降水粒子判別手法を利用して、降水セルのライフサイクル内の発達期・成熟期・減衰期といったステージを、過去の履歴なしで判別する手法を提案している。本研究により、降水セルのライフサイクルと降水セル内に存在する各降水粒子の存在比について、雲物理学的に整合した関係性を見い出せることを示している。特に、上昇気流と関係する大粒子は、降水セルの成長期にのみ出現する特徴的な粒子であることを明らかにしている。</p> <p>さらには、降水セル内に占める各粒子の存在比等から、各ライフステージの可能性を表現するメンバーシップ関数を作成し、ファジー理論によるライフステージの判別</p>			

京都大学	博士（工学）	氏名	増田 有俊
<p>手法を開発している。開発したアルゴリズムを 2012 年 8 月 18 日に大阪平野周辺で発生した局地的豪雨事例に適用した結果，最新時刻の偏波レーダ観測値だけで，孤立した降水セルのライフステージが判別可能であることを示している。本アルゴリズムを用いることでさらに，追跡が困難なマルチセル内の個々の降水セルについても，ライフステージの判別が可能としている。</p> <p>本アルゴリズムは，偏波レーダを用いた降水粒子判別により，すなわち偏波レーダの高度利用により，セルのライフステージを判別可能とした初めての取り組みである。</p> <p>第 5 章では，XRAIN による現業観測値に対して，降水セルの追跡アルゴリズムを適用し，0℃ 高度より上空に出現する <math>Z_{DR}</math> カラムおよび <math>K_{DP}</math> カラムの特徴を整理している。既往研究で示されていたように，発達する孤立積乱雲の発生初期や成長期において <math>Z_{DR}</math> カラムが存在することが，XRAIN データからも確認することができている。</p> <p>さらに，降雨減衰の影響を受けやすい X バンド帯のレーダでは，強雨域が広域に存在する状況化では，<math>Z_{DR}</math> をカラム情報として利用することは困難であることを示している。逆に，そのような状況下では，降雨減衰の影響を受けない <math>K_{DP}</math> を用いたカラム情報が有効であることを示している。また，既往研究では，地上の強雨に先行して <math>Z_{DR}</math> カラムが上空に現れることを事例検証として示しているものがほとんどであるが，本研究では，降水セルの追跡アルゴリズムを活用することで，地上での降雨ピークまでのリードタイムは，<math>Z_{DR}</math> カラムは約 15 分，<math>K_{DP}</math> カラムは約 10 分であることを明らかにしている。</p> <p>第 6 章では，降水セルの抽出・追跡アルゴリズム（第 2 章），降水セルのライフステージ判別アルゴリズム（第 4 章），発達する降水セルに出現するカラム情報（第 5 章）を用いた，線状降水帯のリアルタイム検出と運動学的手法の高度化について提案している。第 6 章前半では，2012 年 8 月 14 日の宇治豪雨と 2014 年 9 月 10 日の池田市での大雨事例について，線状降水帯のリアルタイム判定アルゴリズムを適用した結果，同じ場所に多量の降雨をもたらすバックビルディング型の線状降水帯をリアルタイムで判定可能であることを明らかにしている。</p> <p>第 6 章後半では，降水セルの追跡履歴やライフステージの判別結果ならびにカラム情報を用いた予測手法のプロトタイプを開発し，運動学的手法への降水セルの発達・衰弱効果の導入可能性について検討している。2012 年 8 月 18 日と 2014 年 9 月 10 日の大阪平野周辺の局地的豪雨事例について，従来型の移動予測手法と本手法を比較した結果，従来型の移動予測では表現できない降水セルの面積や強度の増減を表現することが可能であり，局地的豪雨の予測に有効であることを示している。今後の課題として，線状降水帯の上流域における新たな降水セルの発生を概念的に導入することで，停滞性の線状降水帯に対する予測精度の向上が期待できることを述べている。</p> <p>第 7 章は結論であり，各章で得られた成果について要約している。複数の X バンド偏波レーダによる 3 次元観測の有効性を述べた本論文の成果は，すなわち，XRAIN の設計・開発において，地上付近の降雨観測だけでなく，3 次元観測を重要視した考え方が誤りでなかったことを示し，加えて今後のさらなる発展への課題について述べている。</p>			

## (論文審査の結果の要旨)

本論文は、X バンド偏波レーダによる 3 次元観測値を活用した、発達する積乱雲による降水セルの構造解析と局地的豪雨の早期検出に関する研究成果について示したものであり、得られた主な成果は次の通りである。

1. 降水セルの抽出・追跡手法において、鉛直最大降雨強度を用いることで、地上に先行して発生・発達する雨域を早期に検出することが可能であることを示した。また、降水セル群の分割アルゴリズムを適用することで、分割した個々のセルを安定して追跡することは困難であるものの、マルチセル内に存在する個々の降水セルを抽出できることを示した。
2. 偏波パラメータを用いた降水粒子判別において、 $Z_H$  と  $Z_{DR}$  のバイアス補正やグランドクラッタ域の除去が重要であることを示した。その上で、X バンド偏波レーダに本手法を適用した結果、雲物理学的に矛盾しない粒子分布が得られることを確認した。また、ビデオゾンデ観測値と比較した結果からも、妥当な粒子判別が行われていることを示した。
3. 降水セルを構成する各降水粒子の存在比や鉛直降雨強度比から、各ライフステージの可能性を表現可能なメンバーシップ関数を作成し、ファジー理論によるライフステージの判別手法を開発した。開発したアルゴリズムを 2012 年 8 月 18 日に大阪平野周辺で生じた局地的豪雨事例に適用した結果、最新時刻の偏波レーダ観測値だけで、孤立した降水セルのライフステージを判別すること可能であることを示した。
4.  $0^{\circ}\text{C}$  高度より上空に出現する  $Z_{DR}$  カラムおよび  $K_{DP}$  カラムの特徴について解析を行った。既往研究で示されていたように、発達する孤立積乱雲の発生初期や成長期において  $Z_{DR}$  カラムが存在することが、XRAIN データからも確認することができた。また、降雨減衰の影響を受けやすい X バンド帯のレーダ観測値を用いる際の  $Z_{DR}$  カラムの限界と  $K_{DP}$  カラムの有効性を示した。さらに、カラム出現から地上での降雨ピークまでのリードタイムは、 $Z_{DR}$  カラムは約 15 分、 $K_{DP}$  カラムは約 10 分であることを明らかにし、ゲリラ豪雨の早期探知への利用可能性があることを示した。
5. 降水セルの抽出・追跡アルゴリズム、降水セルのライフステージ判別アルゴリズム、発達する降水セルに出現するカラム情報を活用することで、線状降水帯のリアルタイム検出が可能であることを示した。

本論文は、X バンド偏波レーダによる 3 次元観測値を高度に活用した、発達する降水セルの構造解析と局地的豪雨の早期検出を試みたものであり、学術上、実践上寄与するところが少なくない。よって、本論文は博士（工学）の学位論文として価値あるものと認める。また、平成 28 年 2 月 22 日、論文内容とそれに関連した事項について試問を行い、申請者が博士後期課程学位取得基準を満たしていることを確認し、合格と認めた。